

Quantitative Analysis of On-Road Traffic Emissions around Campus—A Study Case of South China Normal University*

Yizhi Lu, Yuqin Shu[#], Liang Zhang, Lianghua Wu

School of Geography, South China Normal University, Guangzhou
Email: [#]gis_syq@163.com

Received: Apr. 26th, 2013; revised: May 11th, 2013; accepted: May 24th, 2013

Copyright © 2013 Yizhi Lu et al. This is an open access article distributed under the Creative Commons Attribution License, which permits unrestricted use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited.

Abstract: On-road traffic emissions have become a source of urban air pollution and will directly affect the environment of campus. In this paper, traffic emissions in streets around campus are calculated by the COPERT model. The experimental area is the four streets (Zhongshan Road, Wushan Road, Hanjing Road and South China Expressway) surrounding South China Normal University. Traffic data are collected at four time periods (8:30-8:45 am, 12:00-12:15 pm, 15:00-15:15 pm and 18:00-18:15 pm). Vehicle emission factors and the amount of CO, NO_x, VOC and PM are calculated. Then, emission characteristics are analyzed. The result shows that the total emissions of CO, NO_x, VOC, PM in the four time periods are 61,612 kg, 29,519 kg, 7,650 kg and 1,470 kg respectively. By comparing the four time periods, it is found that each pollutant emissions in 8:30-8:45 am and 18:00-18:15 pm are higher than the other two time periods.

Keywords: Campus; On-Road Traffic; Emissions; Quantitative Analysis

基于校园周边道路交通的污染物排放定量分析 ——以华南师范大学为例*

陆毅之, 舒娱琴[#], 张亮, 吴良华

华南师范大学地理科学学院, 广州
Email: [#]gis_syq@163.com

收稿日期: 2013年4月26日; 修回日期: 2013年5月11日; 录用日期: 2013年5月24日

摘要: 道路交通污染物排放已日益成为城市空气污染源重要的因素。校园环境也受到了道路交通污染的直接影响。本文应用 COPERT 模式对校园周边道路的尾气进行了定量的分析。实验区域为华南师范大学周边四条主要街道(中山大道、五山路、翰景路和华南快速干线)。通过采集四个时间段(8:30~8:45 am、12:00~12:15 pm、15:00~15:15 pm 和 18:00~18:15 pm)的车流量数据, 计算了相应的 CO、NO_x、VOC 和 PM 的排放因子及排放量, 并对各种污染物的排放特征进行了分析。分析结果表明 CO、NO_x、VOC 和 PM 各自在四个时间段排放量总量为 61.612 kg、29.519 kg、7.650 kg 和 1.470 kg, 8:30~8:45 am 和 18:00~18:15 pm 时段各污染物的排放量较高。

关键词: 校园; 道路交通; 排放量; 定量分析

*基金项目: 国家自然科学基金项目(41101184), 教育部第 45 批留学归国人员科研启动基金项目(一种基于自底向上和自顶向下的城市交通碳排放的混合空间量化方法)。

[#]通讯作者。

1. 引言

随着社会经济的快速发展和人们物质生活水平的不断提高,人们更加追求健康绿色的生活环境。构建“低碳城市”,打造“低碳交通”已成为城市发展的必然方向。机动车尾气中含有多种对人体有害的物质,如CO(一氧化碳)、NO_x(氮氧化合物)、VOC(挥发性有机物)、PM(固体悬浮微粒)、SO₂(二氧化硫)、CH_x(碳氢化合物)等。截止2012年,广州市汽车保有量已达243.6万,其中,中小客车171.6万,是5年前的2.5倍,年均增长率达19%^[1]。机动车保有量的不断增加导致城市机动车尾气污染更严重。与2011年相比,广东省空气中的两项主要污染物——SO₂和NO_x排放量分别上升了1.03%和4.90%^[2]。机动车尾气是城市空气污染的主要来源^[3],会直接影响城市环境及城市居民生活。同理,校园周边的机动车尾气也会对校园环境产生不良影响。因此有必要对校园周边的交通污染物排放量进行定量计算。

交通污染物排放量的计算方法主要分为两大类:自顶向下(top-down)的量算法^[4-7]和自底向上(bottom-up)的量算法^[8,9]。自顶向下的量算法通常是已知研究区的排放总量,先将研究区划分为大小相等的格网,然后依据和排放量相关的因子对每个格网赋予一定的权重值,最后根据权重值计算出各格网内的排放量。自底向上的量算法根据每条道路的车流量、车型比例、平均车速等因子计算出机动车排放因子,进一步计算出道路或区域的排放总量。自底向上的量算结果主要来自于精度较高的车流数据,因此其准确度要优于自顶向下的量算法^[4]。自底向上的交通污染物排放模型有很多,如COPERT、MOBILE、MOVES、CMEM、IVE等。利用COPERT模型计算的排放因子更接近中国机动车实际排放情况^[10],且COPERT模型能计算出机动车尾气中大部分污染物的排放因子,如CO、NO_x、VOC和PM。因此,本文使用的是自底向上的COPERT模型计算这四种污染物的排放量。国内外的学者利用COPERT模式进行了许多研究。廖瀚博等应用COPERT IV模型计算了2008年广州市机动车尾气排放总量,并对排放因子敏感性以及排放特征进行了分析^[11]。刘永红等应用COPERT模式对佛山市中心城区主要街道限行前后路段的机动车排放总量进行了计算和对比^[12]。国外的一些学者也利用COPERT

模式对交通污染物排放进行了计算和分析^[13-15]。本文立足于校园周边道路的污染物排放,以华南师范大学为例,计算了周边四条道路在8:30~8:45 am, 12:00~12:15 pm, 15:00~15:15 pm, 18:00~18:15 pm四个时间段内CO, NO_x, VOC和PM的排放量,并对结果进行了比较与分析。

2. 计算方法

2.1. COPERT IV 模型

COPERT模型是由欧洲环境署(EEA)开发的,用于计算交通排放因子和估算交通排放量的模型^[16]。该模型采用了大量可靠的实验数据,能够兼容不同国家标准和参数变量^[8]。COPERT是欧洲使用的最广泛的计算道路排放的模型^[17]。

COPERT IV是目前比较成熟的版本,其将机动车的排放形式分为三个类别:热稳定排放(hot emission)、冷启动排放(cold start emission)和燃料蒸发排放(evaporative emission)。冷启动排放其值为热稳定排放加上一个附加值。燃料蒸发排放的NMVOC(非甲烷挥发性有机物)由每日排放、热浸排放和运行损失3部分组成,其排放因子是燃料蒸气压和环境温度的函数。热稳定排放指机动车发动机在运转到达热稳定状态下时的排放,COPERT在计算时认为它只与机动车的平均速度有关^[18]。

2.2. 机动车分类

对现有的车流量数据所涵盖的车型进行分类是计算机动车污染物排放的基础。COPERT IV模型将机动车分为小客车(passenger car)、轻型货车(light duty vehicle)、重型货车(heavy duty vehicle)、公交车(bus)、摩托车(moped)和摩托车(motorcycle)六大类,每个大类又依据机动车的发动机排量、排放标准、油料类型等划分为若干个小类。由于中国汽车分类标准和COPERT的车辆分类方法不同,本文参照谢绍东等的研究^[10],将中国机动车分类类型同COPERT IV机动车分类类型进行匹配。具体匹配信息如表1所示。

2.3. 计算原理

各条街道的交通污染物排放量的计算方法见公式(1):

Table 1. Classification of motor vehicles in China in comparison with COPERT IV
表 1. 中国机动车分类和 COPERT IV 机动车分类

中国机动车分类类型		COPERT VI 机动车分类类型	
小客车	乘客数 ≤ 9人	小客车	汽油, 排量 ≤ 1.4 L 汽油, 1.4 L ≤ 排量 ≤ 2 L
微型客车	排量 ≤ 1 L		柴油, 排量 ≤ 2 L 柴油, 排量 ≥ 2 L
微型货车	重量 ≤ 0.75 t	轻型货车	汽油, 重量 ≤ 3.5 t
微型货车	重量 ≤ 4.5 t		柴油, 重量 ≤ 3.5 t
中型货车	4.5 t ≤ 重量 ≤ 12 t	重型货车	柴油, 3.5 t ≤ 重量 ≤ 12 t 柴油, 12 t ≤ 重量 ≤ 32 t
重型货车	重量 ≥ 12 t		柴油, 重量 ≥ 32 t
中型客车	9人 < 乘客数 < 20人	大客车	城市公交
大型客车	乘客数 > 20人		长途客车
	排量 ≤ 50 cm ³		二冲程, 排量 > 50 cm ³
摩托车		摩托车	四冲程, 排量 < 250 cm ³
	排量 ≥ 50 cm ³		四冲程, 250 cm ³ < 排量 < 750 cm ³ 四冲程, 排量 > 750 cm ³

$$\text{Emission}_i = \sum_{j=1}^6 EF_{i,j} \times \text{COUNT}_j \times L_{\text{road}} \quad (1)$$

公式(1)中, Emission_i 为某条道路 i 类污染物的排放总量(g); $EF_{i,j}$ 为 j 类车型第 i 类污染物的综合排放因子(g/(km × veh), 1 辆车行驶 1 km 所排放的污染物克数); COUNT_j 为该条道路上 j 类车型的车流量(辆); L_{road} 为道路长度(km)。

通过 COPERT IV 模型可得到某一种机动车使用某种燃油在某排放标准下的排放因子, 但广州市从 2005 年至 2010 年实施了三个不同的排放标准。如 2005 年推行国 II 排放标准, 2006 年实施国 III 排放标准, 2010 年开始实施国 IV 排放标准。结合自统计以来各车型历年保有量数据, 可以计算出某一子类在各个排放标准下的排放因子, 进而获得某子类的综合排放因子, 见公式(2)。

$$EF_{i,j} = \frac{\sum_{t=1}^n \sum_{k=1}^4 EF_{j,t,k} \times \text{COUNT}_{j,t}}{\text{COUNT}_j} \quad (2)$$

公式(2)中, $EF_{i,j}$ 为 j 类车型第 i 类污染物的综合排放因子, k 代表第 k 类排放标准, t 代表某车型的 t 子类型; $\text{COUNT}_{j,t}$ 为 j 类车型中 t 子类型的机动车保

有量。 $EF_{i,j,k}$ 为 j 类车型中 t 子类型在第 k 类排放标准下的排放因子, 可通过 COPERT IV 获得, 但需要以下参数: 气象参数(如研究区每月的最高、最低平均温度、平均湿度、燃油蒸汽压)、汽油参数、平均车速、车辆平均行驶里程、车辆平均负载率等。

3. 数据源

本研究以华南师范大学为例。华南师范大学位于广州市天河区中山大道。其东面为华南快速干线, 南面为中山大道, 西面为五山路, 北面为翰景路。具体位置如图 1 所示。

3.1. 交通车流数据

通过采集围绕华南师范大学的四条街道在相应时间点的视频, 对视频中各类车型的车流量以及各个时间点的平均车速进行了统计。视频采集时间是 2012 年 11 月至 2012 年 12 月之间, 拍摄对象是中山大道、五山路、翰景路和华南快速干线。拍摄时间选取在上下班高峰时段和闲时, 即拍摄日的早上 8:30~8:45 am, 中午 12:00~12:15 pm, 下午 15:00~15:15 pm 和晚上 18:00~8:15 pm。

3.2. 其它参数

1) 气象参数。月均最低(最高)气温以及相对湿度从统计年鉴^[19]获取。

2) 油料参数。油料参数,如硫含量百分比、碳氢比、燃油蒸汽压等,采集自相关标准以及部分文献^[20-22]。

3) 平均速度。统计各时间段交通车流视频的车队平均速度。表 2 为各街道各时间段的车队平均速度(km/h):

4) 机动车信息。各车型机动车保有量由各年统计年鉴以及相关文献得出^[23,24]。车辆负载率等其他参数使用模型默认值。

4. 结果及分析

由于摩托车和电动自行车同其他车型的排放量相比过少,故下文仅给出小客车、大客车、轻型货车和重型货车的排放量计算结果。而重型货车仅出现于华南快速干线,因此除华南快速干线外的其他三条街道的重型货车各种污染物排放量均为 0 g。

4.1. CO 排放量分析

四个时间段所有车型 CO 排放量之和为 61.612

kg,各时间段的排放总量分别为 16.592 kg、12.921 kg、14.200 kg 和 17.899 kg,其排放情况如图 2。由图 2 可知,在任意道路或时段内,小客车的 CO 排放量均位

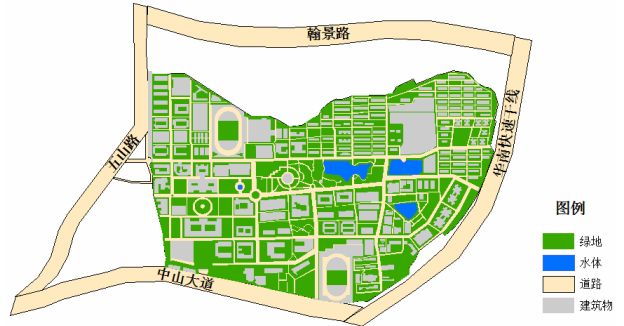


Figure 1. Campus of South China Normal University and its surrounding streets

图 1. 华南师范大学校园及周边街道

Table 2. Average vehicle speed at each road
表 2. 各条道路车队平均车速

拍摄时间	中山大道	五山路	翰景路	华南快速干线
8:30~8:45	17.5	20.5	44.4	70
12:00~12:15	21.9	21.2	37.5	68.2
15:00~15:15	21.1	23.8	43	71
18:00~18:15	15.8	15.5	40	66.2

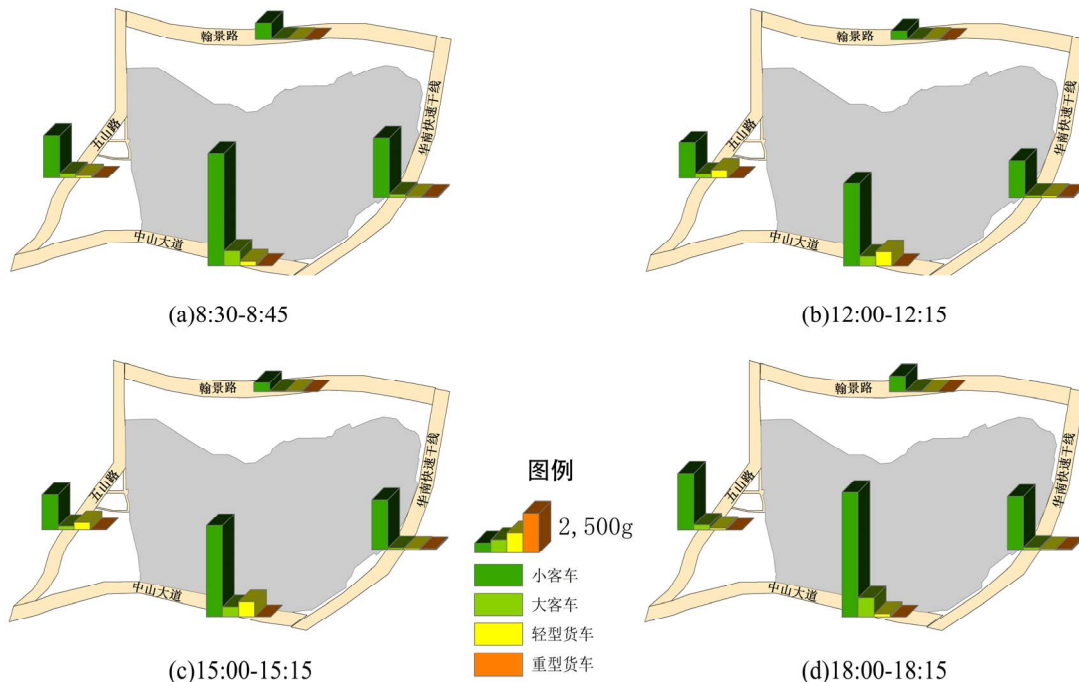


Figure 2. CO emissions of four vehicle types at each road in different time periods

图 2. 各街道各车型各时段 CO 排放总量

居第一。而在各时间段内，小客车排放量总量水平均在 74%以上。由此可见，小客车是 CO 排放的最主要来源。对小客车而言，8:30~8:45 am 以及 18:00~18:15 pm 均显示了较高的排放量。这两个时间段为上下班高峰时期，小客车车流量较其他时段更大，车队平均速度更慢，导致其排放因子更大，因此排放量也较其他两个时间段更大。大客车的 CO 排放量在 8:30~8:45 am 和 18:00~18:15 pm 位居第二，而其他两个时间段轻型货车的排放量位居第二。

4.2. NO_x 排放量分析

四个时间段内所有车型 NO_x 排放量之和为 29.519 kg，各时间段的排放总量分别为 7.956 kg、6.048 kg、6.248 kg 和 9.267 kg，其排放情况如图 3 所示。

由图 3 可知，在中山大道、五山路以及翰景路上，NO_x 的主要排放来源为大客车和小客车，其中又以大客车为甚。对于中山大道，四个时段小客车的平均车流量为大客车的近 6~7 倍，而大客车的 NO_x 排放量却为小

客车的 3 倍以上，由此可见大客车的 NO_x 排放量之高。五山路和翰景路也均有类似的规律。对于华南快速干线，由于大客车的数量较其他三条道路更少，

因此表现出了和小客车排放量相当的态势。就华南快速干线上的重型货车和轻型货车相比，重型货车平均车流量为轻型货车的 60%~80%，而重型货车的 NO_x 平均排放量却为轻型货车的约 2.7 倍。

4.3. VOC 排放量分析

四个时间段内所有车型 VOC 排放量之和为 7.650 kg，各时间段的排放总量分别为 2.037 kg、1.560 kg、1.666 kg 和 2.387 kg，其排放情况如图 4 所示。VOC 的排放特征和 CO 的排放特征有相同点，表现为小客车占主要排放地位。与 NO_x 排放特征不同的是轻型货车的 VOC 排放量大于重型货车，平均为重型货车的 8.2 倍。这点可从华南快速路的排放特征看出。就总体情况来看，小客车是 VOC 的主要排放来源。

4.4. PM 排放量分析

四个时间段内所有车型 PM 排放量之和为 1.470 kg，各时间段的排放总量分别为 0.388 kg、0.307 kg、0.309 kg 和 0.466 kg，其排放情况如表 3 所示。从表 3 可以看出，PM 排放量表现为极不均等的关系，其中大客车的排放占绝大部分。这是由于大客车的排放因子远大于轻型客车和小客车的排放因子。

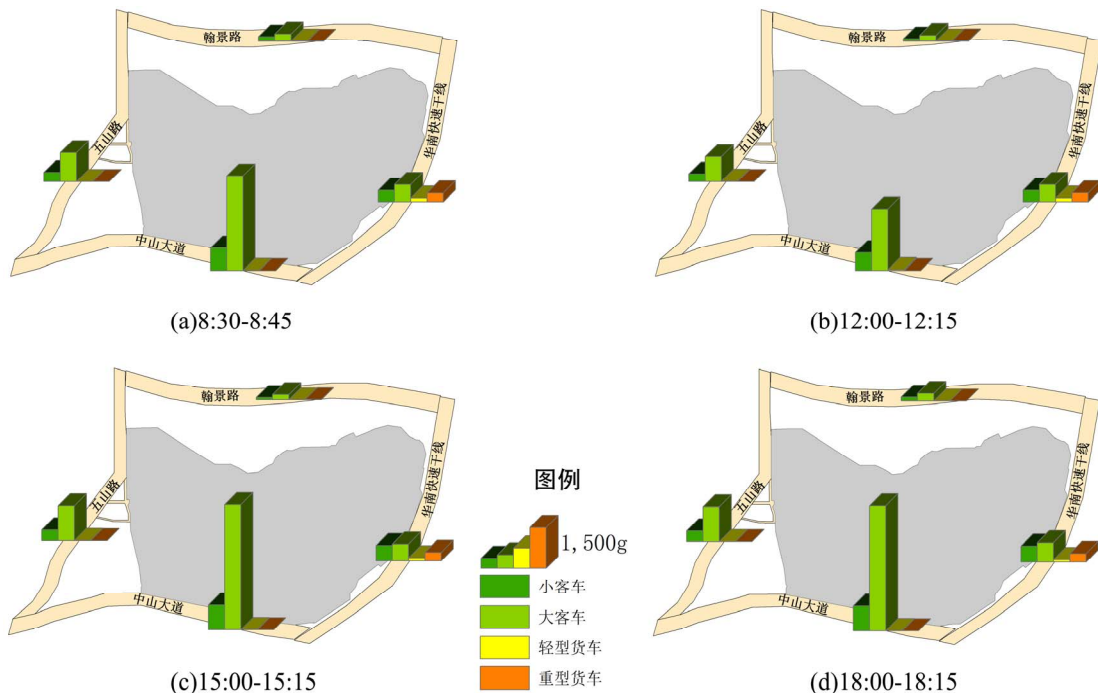


Figure 3. NO_x emissions of four vehicle types at each road in different time periods
图 3. 各街道各车型各时段 NO_x 排放总量

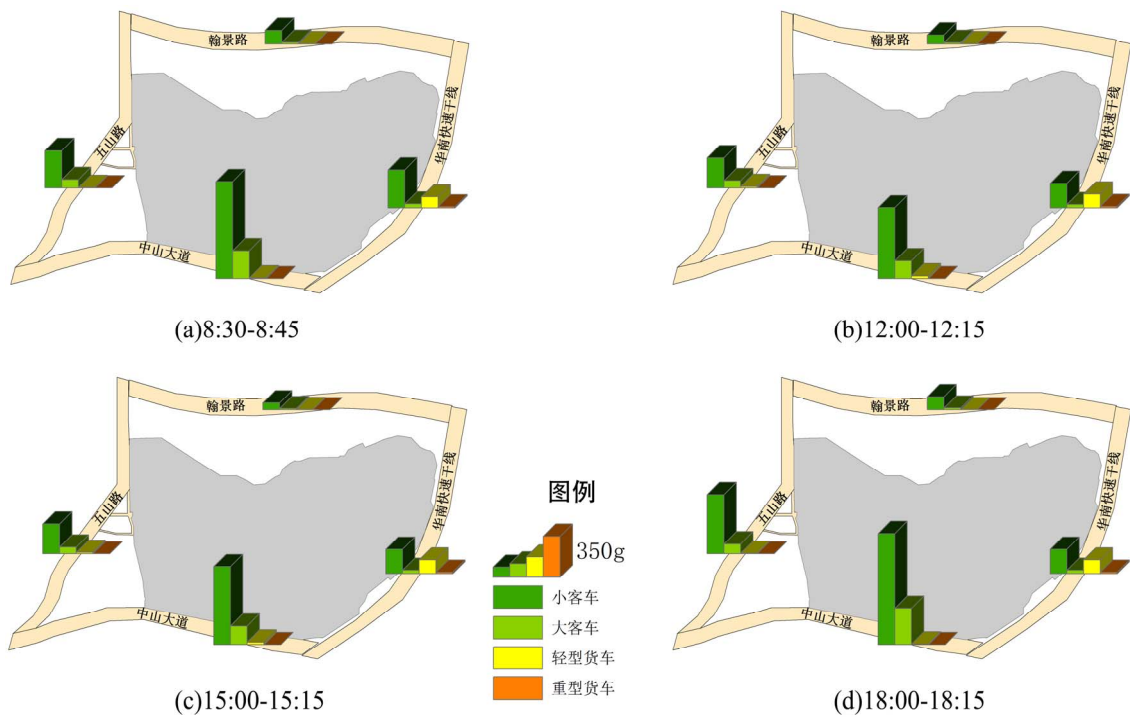


Figure 4. VOC emissions of four vehicle types at each road in different time periods
图 4. 各街道各车型各时段 VOC 排放总量

Table 3. PM emissions of four vehicle types at each road in different time periods
表 3. 各条街道各车型各时段 PM 排放总量

拍摄位置及时间	小客车	轻型货车	重型货车	大客车
中山大道8:30~8:45	3.03	2.70	0	231.92
中山大道12:00~12:15	2.60	7.03	0	154.22
中山大道15:00~15:15	2.85	6.84	0	160.99
中山大道18:00~18:15	3.18	2.03	0	301.14
五山路8:30~8:45	1.30	1.08	0	70.38
五山路12:00~12:15	1.10	3.36	0	62.95
五山路15:00~15:15	1.18	2.94	0	59.72
五山路18:00~18:15	1.16	1.20	0	73.71
翰景路8:30~8:45	0.85	0.32	0	18.25
翰景路12:00~12:15	0.43	0.55	0	14.57
翰景路15:00~15:15	0.45	0.35	0	13.59
翰景路18:00~18:15	0.75	0.45	0	19.27
华南快速8:30~8:45	3.40	5.40	5.76	43.80
华南快速12:00~12:15	2.10	7.65	7.02	44.35
华南快速15:00~15:15	2.75	6.30	6.84	42.83
华南快速18:00~18:15	2.98	4.50	6.48	49.68

5. 结论

CO、NO_x、VOC、PM 排放总量分别为 61.612 kg、29.519 kg、7.650 kg 和 1.470 kg。具体排放特征如下：

1) 就车型而言，CO 的主要排放来源为小客车，约占排放总量的 84%；NO_x 的主要排放来源为大客车，约占排放总量的 70%；VOC 的主要排放来源为小客车，约占排放总量的 75%；PM 的主要排放来源为大客车，约占排放总量的 92%。而在华南快速干线上，重型货车 NO_x 的排放量超过了大客车，分别占总量的 40%和 34%。

2) 就街道而言，中山大道上四种污染物的排放量均为最大，主要原因是中山大道为交通要道，其车流量相对较大，同时其平均车速较慢。CO、NO_x 以及 VOC 排放量排第二的均为华南快速干线，主要原因是华南快速干线的车流量较大，但由于其平均车速较快，因此排放因子相对较低。对于 PM，排放量位居第二的为五山路。

3) 就时间段而言，表现为 8:30~8:45 am 以及 18:00~18:15 pm 的各污染物排放量相对较大。12:00~12:15 pm 以及 15:00~15:15 pm 的排放量相对较低。这主要是由于早上八点至九点和下午六点至七点为上

下班高峰期,小客车和大客车的数量在此时间段比其他两个时间段多,车流量多导致其车队平均车速较低,所以排放量也较其他两个时间段更大。

综上所述,本文对华南师范大学周边交通污染物排放情况进行了定量的计算与分析,有助于了解该区域周边街道的污染物排放情况。本研究的后续工作拟对这四条街道的污染物浓度的进行采集与监测,实现污染物扩散的模拟,寻找排放量与浓度的之间的存在的潜在关系。

参考文献 (References)

- [1] 广州市交通运输研究所. 广州交通发展白皮书[URL], 2012. <http://www.docin.com/p-48743756.html>
- [2] 陈杰俊, 陈惠陆. 珠三角PM2.5站点增至62个[N]. 南方日报, 2012-6-5(A04).
- [3] 赵培, 赵云胜, 叶彬. 城市中有毒有害气体对公共安全的影响研究[J]. 安全和环境工程, 2011, 18(3): 98-101.
- [4] D. Tuia, et al. Evaluation of a simplified top-down model for the spatial assessment of hot traffic emissions in mid-sized cities. *Atmospheric Environment*, 2007, 41(17): 3658-3671.
- [5] M. Dalvi, G. Beig, U. Patil, et al. A GIS based methodology for gridding of large-scale emission inventories: Application to carbon-monoxide emissions over India region. *Atmospheric Environment*, 2006, 40: 2995-3007.
- [6] Y. Q. Shu, N. S. N. Lam. Spatial disaggregation of carbon dioxide emissions from road traffic based on multiple linear regression model. *Atmospheric Environment*, 2011, 45(3): 634-640.
- [7] Y. Q. Shu, N. S. N. Lam and M. Reams. A new method for estimating carbon dioxide emissions from transportation at fine spatial scales. *Environmental Research Letters*, 2010, 5(4): 044008.
- [8] E. J. Kinnee, J. S. Touma, R. Mason, et al. Allocation of onroad mobile emissions to road segments for air toxics modeling in an urban area. *Transportation Research Part D*, 2004, 9(2): 139-150.
- [9] F. Nejadkoorki, K. Nickolson, I. Lake and T. Davies. An approach for modelling CO₂ emissions from road traffic in urban areas. *Science of the Total Environment*, 2008, 406(1-2): 269-278.
- [10] 谢绍东, 宋翔宇, 申新华. 应用 COPERT III 模型计算中国机动车排放因子[J]. *环境科学*, 2006, 27(3): 415-419.
- [11] 廖瀚博, 余志, 周兵, 刘永红等. 广州市机动车尾气排放特征研究[J]. *环境科学与技术*, 2012, 35(1): 134-138.
- [12] 刘永红, 毕索阳等. 佛山市中心城区机动车限行对污染物削减效果的分析[J]. *中国环境科学*, 2010, 30(11): 1563-1567.
- [13] J. Ariztegui, J. Casanova and M. Valdes. A structured methodology to calculate traffic emissions inventories for city centres. *Science of the Total Environment*, 2004, 334-335: 101-109.
- [14] R. Bellasio, R. Bianconi, G. Corda and P. Cucca. Emission inventory for the road transport sector in Sardinia (Italy). *Atmospheric Environment*, 2007, 41(4): 677-691.
- [15] C. Mensink, I. De Vlieger and J. Nys. An urban transport emission model for the Antwerp area. *Atmospheric Environment*, 2000, 34(27): 4595-4602.
- [16] COPERT III. Computer programme to calculate emissions from road transport Methodology and emission factors (Version 2.1). Copenhagen: EEA, 2000.
- [17] 马因韬, 刘启汉, 雷国强等. 机动车排放模型的应用及其适用性比较[J]. *北京大学学报(自然科学版)*, 2008, 44(2): 308-316.
- [18] 樊守彬. 北京机动车尾气排放特征研究[J]. *环境科学与管理*, 2011, 36(4): 28-31.
- [19] 广州统计局编. 2011 广州统计年鉴[M]. 北京: 中国统计出版社, 2011.
- [20] 中华人民共和国质量检验检疫总局. GB17930-2006, 车用汽油[S]. 北京: 中国标准出版社, 2006.
- [21] 中华人民共和国国家质量监督检验检疫总局. GB/T 19147-2003, 车用柴油[S]. 北京: 中国标准出版社, 2004.
- [22] 龚家伟, 孙晋文. 汽油密度与碳氢质量比的关系[J]. *中国农业大学学报*, 1999, 4(4): 114-116.
- [23] 姚欣灿, 洪程, 农加进等. 广州市 2005-2010 年道路机动车污染排放控制措施效益评估[J]. *广州环境科学*, 2012, 27(1): 39-43.
- [24] 姚欣灿, 黄如娜, 农加进等. 广州市 2010 年道路机动车排放清单研究[J]. *广州环境科学*, 2012, 27(2): 20-23.